

# Penentuan Nilai Arus Pemutusan Pemutus Tenaga Sisi 20 KV pada Gardu Induk 30 MVA Pangururan

Yusmartato<sup>1)</sup>, Ramayulis<sup>2)</sup>, Abdurrozzaq Hasibuan<sup>3)</sup>

<sup>1),2)</sup>Dosen Program Studi Teknik Elektro, <sup>3)</sup>Program Studi Teknik Industri

Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara

yusmartato@ft.uisu.ac.id; rozzaq@uisu.ac.id

## Abstrak

Jaringan distribusi 20 kV berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke konsumen. Pada jaringan udara 20 kV sering terjadi gangguan terutama gangguan hubung singkat. Maka pada jaringan distribusi dipasang sistem pengamanan. Dalam setiap sistem pengamanan listrik minimum terdiri dari pemutus tenaga, relay, dan transformator ukur. Pemutus Tenaga (PMT) atau Circuit Breaker (CB) merupakan saklar mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi gangguan seperti kondisi hubung singkat. Salah satu alat pengamanan jaringan distribusi adalah Pemutus Tenaga. Dalam keadaan gangguan, pemutus tenaga harus mampu melokalisasi titik gangguan sehingga tidak merusak peralatan listrik yang lain. Dalam hal ini untuk penentuan nilai arus pemutusan kapasitas pemutus tenaga, arus gangguan yang dihitung adalah gangguan hubung singkat tiga fasa, hal ini dilakukan karena arus gangguan tersebut merupakan nilai arus yang terbesar. Salah satu faktor yang menyebabkan besar arus gangguan hubung singkat tiga adalah letak titik gangguan. sehingga titik gangguan diasumsikan titik gangguannya berada di ujung penyulang/saluran, di busbar dan di dalam transformator. Setelah dilakukan perhitungan, nilai arus pemutusan pemutus tenaga untuk penyulang adalah 7,76 kA, untuk arus pemutusan pemutus tenaga Busbar 20 kV adalah 9,33 kA dan untuk Transformator adalah 68,44 kA.

*Kata Kunci:* Arus Hubung Singkat, Daya, Penyulang, Pemutus Tenaga

## I. PENDAHULUAN

Dalam penyaluran energi listrik dari gardu induk melalui busbar/rel ke sistem jaringan distribusi 20 kV yang berkesinambungan, sering terjadi bermacam-macam gangguan sistem tenaga listrik, gangguan yang timbul berupa gangguan yang timbul berupa gangguan secara internal maupun secara eksternal yang dapat mengakibatkan terhentinya penyaluran energi listrik.

Transformator tenaga adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya (mentransformasikan tegangan). Dalam operasi umumnya, trafo-trafo tenaga ditanahkan pada titik netralnya sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan/proteksi, sebagai contoh transformator 150/70 kV ditanahkan secara langsung di sisi netral 150 kV, dan transformator 70/20 kV ditanahkan dengan tahanan di sisi netral 20 kV nya. Transformator yang telah diproduksi terlebih dahulu melalui pengujian sesuai standar yang telah ditetapkan.

Penentuan nilai arus pemutusan pemutus tenaga sisi 20 kV, dapat ditentukan dengan cara menghitung arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada penyulang Gardu Induk Pangururan.

## II. LANDASAN TEORI

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna

untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah; 1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan 2) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Untuk jaringan distribusi pada umumnya terdiri dari dua bagian yang paling utama, yaitu sebagai berikut :

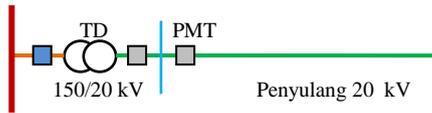
### a. Jaringan distribusi primer

Jaringan distribusi primer yaitu jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu induk sub transmisi ke gardu distribusi. Jaringan ini merupakan jaringan tegangan menengah atau jaringan tegangan primer. Biasanya, jaringan ini menggunakan enam jenis jaringan yaitu sistem radial dan sistem tertutup atau loop, ring, network spindle dan cluster.

### b. Jaringan distribusi sekunder

Jaringan distribusi sekunder yaitu jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada di konsumen. Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan ialah sistem radial.

Diagram satu garis jaringan distribusi primer 20 kV atau penyulang 20 kV ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram satu garis penyulang 20 kV

**A. Impedansi Sumber**

Untuk menghitung impedansi sumber dapat mempergunakan rumus sebagai berikut:

$$Z_{dasar} = \frac{KV^2}{MVA_{hs3\phi}} \text{ (Ohm)} \quad (1)$$

Harga resistansi sumber diabaikan karena harganya jauh lebih kecil dari harga reaktansi, maka harga reaktansinya dapat dituliskan:

$$X_{s1} = j \frac{KV^2_{dasar}}{MVA_{hs3\phi}} \text{ (Ohm)} \quad (2)$$

Di mana:

$X_{s1}$  = Reaktansi sumber urutan positif

$KV_{dasar}$  = Tegangan dasar (KV)

$MVA_{hs3\phi}$  = Daya hubung singkat tiga fasa (MVA)

**B. Impedansi Transformator**

Untuk perhitungan impedansi suatu transformator yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan resistansinya diabaikan karena harganya jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan harga reaktansinya.

Untuk menghitung nilai reaktansi transformator dalam Ohm dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$X_T = j \frac{KV^2}{MVA} \text{ (Ohm)} \quad (3)$$

Di mana:

$X_T$  = Reaktansi transformator (Ohm)

$KV$  = Tegangan sisi primer transformator (KV)

$MVA$  = Kapasitas transformator (MVA)

Pada transformator daya umumnya informasi nilai reaktansi menggunakan nilai persentase atau per unit (pu).

Reaktansi transformator daya dengan daya dasar baru:

$$X_{T\text{ baru}} = X_{T\text{ lama}} \times \frac{MVA_{baru}}{MVA_{lama}} \times \frac{KV_{lama}^2}{KV_{baru}^2} \text{ (pu)} \quad (4)$$

Di mana :

$X_{T\text{ baru}}$  = Reaktansi transformator baru (pu)

$X_{T\text{ lama}}$  = Reaktansi transformator lama (pu)

$MVA_{baru}$  = Daya dasar baru (MVA)

$MVA_{lama}$  = Daya dasar lama (MVA)

$KV_{lama}^2$  = Tegangan dasar lama (KV)

$KV_{baru}^2$  = Tegangan dasar baru (KV)

**C. Impedansi Penyulang**

Untuk menentukan impedansi penyulang, perhitungannya tergantung dari besarnya impedansi per km dari penyulang yang akan dihitung, di mana harganya tergantung pada jenis penghantarnya, yaitu dari bahan apa penghantar tersebut dibuat dan juga tergantung dari ukuran penampang dan panjang penghantar atau penyulangnya.

Impedansi penyulang dalam satuan per unit adalah:

$$Z = \frac{Z_{penyulang}}{Z_{dasar}} \text{ (pu)} \quad (5)$$

Di mana:

$Z$  = Impedansi penyulang (pu)

$Z_{penyulang}$  = Impedansi penyulang (dasar)

$Z_{dasar}$  = Impedansi dasar (Ohm)

**D. Impedansi Ekuivalen Penyulang**

Menentukan besarnya impedansi ekuivalen mulai dari sumber ke titik gangguan, impedansi yang terbentuk adalah terhubung seri, maka perhitungan impedansi ekuivalen dapat langsung dengan cara menjumlahkan impedansi tersebut karena terhubung secara seri.

Sehingga untuk impedansi ekuivalen dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Z_{ekivalen} = Z_{sumber} + Z_{Trafo} + Z_{penyulang} \quad (6)$$

Di mana:

$Z_{ekivalen}$  = Impedansi ekuivalen (pu)

$Z_{sumber}$  = Impedansi sumber (pu)

$Z_{trafo}$  = Impedansi transformator (pu)

$Z_{penyulang}$  = Impedansi penyulang (pu)

**E. Arus Hubung Singkat**

Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat tiga fasa, diasumsikan bahwa tegangan gangguan ( $V_f$ ) = 1,0 pu, dengan persamaan sebagai berikut:

$$I_{hs\ 3\phi} = \frac{V_f}{Z_{ekiv.}} \quad (7)$$

Di mana:

$I_{hs\ 3\phi}$  = arus hubung singkat tiga fasa (pu)

$V_f$  = tegangan pada saat gangguan (pu)

$Z_{ekiv.}$  = Impedansi ekuivalen (pu)

**F. Rating Arus Pemutus Tenaga**

Yang dimaksud dengan rating arus yang dapat diputuskan adalah arus total terbesar (AC dan DC) yang dapat diputuskan dengan baik. Besar arus tergantung dari waktu membukanya alat pemutus tenaga (PMT). Pada umumnya komponen DC tersebut sulit dihitung, jadi untuk mengikut sertakan komponen DC, arus simetris yang diperoleh dikalikan dengan faktor pengali. Faktor

pengali tersebut besarnya tergantung dari waktu membukanya alat pemutus tenaga (PMT).

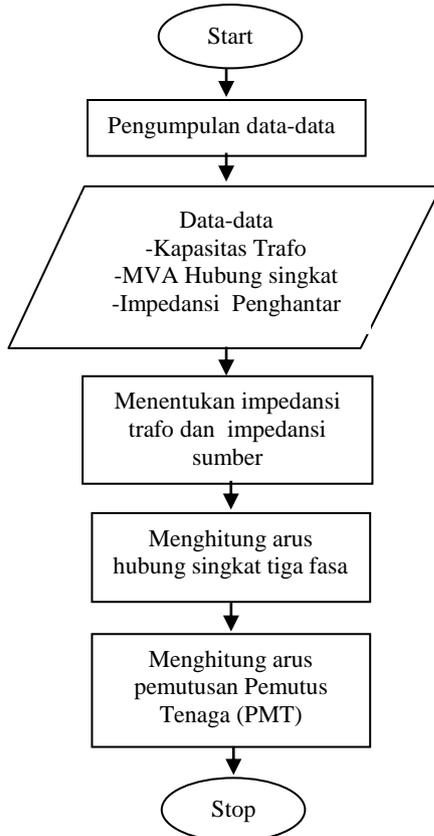
Faktor pengali dan lamanya waktu membuka alat pemutus tenaga ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor pengali pemutus tenaga

Waktu membukanya alat pemutus tenaga	Faktor pengali
8 cycle (0,16 Second)	1,0
5 cycle (0,10 Second)	1,1
3 cycle (0,06 Second)	1,2
2 cycle (0,04 Second)	1,4
Sesaat	1,6

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini, metode-metode yang digunakan adalah seperti terlihat pada Gambar 2 diagram alir.



Gambar 2. Diagram alir penentuan arus pemutusan PMT

### IV. PERHITUNGAN DAN ANALISA

#### A. Data-Data Perhitungan

Gardu Induk Pangurusan menggunakan tegangan 150/20 kV, dengan kapasitas (1x30 MVA), lokasi gardu Induk ini terletak di Desa Parbaba Dolok, Kecamatan Pangurusan, Kabupaten Samosir.

Data teknik yang ada pada Gardu Induk Pangurusan adalah sebagai berikut:

1. Transformator Daya
  - Kapasitas : 30 MVA
  - Impedansi urutan positif : 12,7%
  - Tegangan nominal : 150/20 kV
  - Arus nominal sisi 150 kV : 115,5 Amper
  - Arus nominal sisi 20 kV : 866 Amper

2. Penghantar Kawat 70 mm<sup>2</sup>
  - Jenis kawat penghantar : AAAC
  - Impedansi urutan positif = urutan negatif :  $Z_1 = Z_2 = 0,4608 + j 0,3572 \text{ Ohm/km}$

#### B. Menghitung Impedansi Sumber

Perhitungan impedansi sumber di Bus 20 kV, pada gardu induk Pangurusan dengan daya dasar sebesar 100 MVA.

Untuk menghitung impedansi sumber dapat menggunakan persamaan (3) sebagai berikut:

$$Z_s = X_{s1} = j \frac{KV^2_{dasar}}{MVA_{dasar}} \text{ (Ohm)}$$

Untuk tegangan 150 kV:

$$Z_s = X_{s1} = \frac{(150)^2}{100} = 225 \text{ Ohm}$$

Data arus hubung singkat tiga fasa pada sisi primer gardu induk Pangurusan adalah:

$$I_{hs3\phi} = 5,416 \text{ kA}$$

MVA hubung singkat tiga fasa pada sisi primer Gardu Induk Pangurusan adalah:

$$MVA_{hs3\phi} = \sqrt{3} \times I_{hs3\phi} \times KV_{primer}$$

$$MVA_{hs3\phi} = 1,73 \times 5,416 \times 150$$

$$MVA_{hs3\phi} = 1405,452 \text{ MVA}$$

Maka impedansi sumber urutan positif pada sisi primer Gardu Induk Pangurusan adalah:

$$X_{s1} = j \frac{KV^2_{dasar}}{MVA_{hs3\phi}} \text{ (Ohm)}$$

$$X_{s1} = j \frac{150^2}{1405,452} \text{ (Ohm)}$$

$$X_{s1} = j 16 \text{ (Ohm)}$$

Dalam satuan per unit (pu) adalah:

$$X_{s1} = j \frac{16}{225} = j 0,0711 \text{ (pu)}$$

#### C. Reaktansi Transformator

Sesuai dengan data teknis yang terpasang, maka nilai reaktansi transformator urutan positif =  $X_{T1}$  adalah:

$$X_{T1} = j 0,127 \text{ pu}$$

$$X_{T1} = X_T \times \frac{MVA_2}{MVA_1} \times \frac{kV_1^2}{kV_2^2}$$

$$X_{T1} = j 0,127 \times \frac{100}{30} \times \frac{150^2}{150^2}$$

$$X_{T1} = j 0,4233 \text{ pu}$$

**D. Impedansi Penyulang**

Data impedansi penghantar penyulang adalah: Jenis penghantar AAAC 70 mm<sup>2</sup> yang mempunyai impedansi = 0,4608 + j 0,3572 Ohm/km

Untuk mempermudah dalam perhitungan, semua nilai impedansi total saluran pada tiap penyulang diubah dalam satuan per unit (pu).

$$Z_{dasar} = \frac{kV^2}{MVA_{dasar}}$$

$$Z_{dasar} = \frac{(20)^2}{100} = 4 \text{ Ohm}$$

Maka, impedansi penyulang urutan positif ( $Z_{p1}$ ) dalam per unit (pu) adalah:

$$Z_{p1} = \frac{Z_{penyulang}}{Z_{dasar}} \text{ (pu)}$$

$$Z_{p1} = \frac{0,4608 + j 0,3572}{4}$$

$$Z_{p1} = 0,1152 + j 0,0893 \text{ (pu)}$$

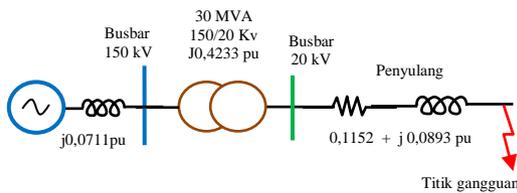
**E. Arus Hubung Singkat**

Arus hubung singkat yang dihitung adalah arus hubung singkat tiga fasa yang titik gangguannya diperkirakan sebagai berikut:

- Untuk Pemutus Tenaga pengaman jaringan/ penyulang 20 kV, titik gangguannya diambil di titik ujung penyulang.
- Untuk Pemutus Tenaga pengaman Busbar 20 kV, titik gangguan diambil di Busbar 20 kV.
- Untuk Pemutus Tenaga pengaman Transformator 150/20 kV titik gangguan dimisalkan terjadi di dalam transformator.

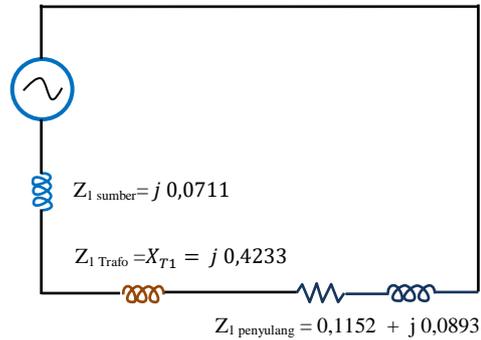
**a. Arus Hubung Singkat Tiga Fasa untuk Gangguan di Ujung Penyulang**

Untuk diagram satu garis dari penyulang, dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram satu garis penyulang untuk titik gangguan di ujung penyulang

Dari Gambar 3 diagram satu garis, maka dibuat gambar impedansi urutan positif seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram impedansi urutan positif Untuk gangguan di ujung penyulang

Arus hubung singkat tiga fasa di ujung penyulang adalah:

$$I_{3\phi} = \frac{V_f}{Z_1}$$

$$I_{3\phi} = \frac{1 \angle 0^0}{Z_{sumber} + Z_{trafo} + Z_{penyulang}}$$

$$I_{3\phi} = \frac{1 \angle 0^0}{j0,0711 + j0,4233 + 0,1152 + j0,0893}$$

$$I_{3\phi} = \frac{1 \angle 0^0}{0,1152 + j0,5837}$$

$$I_{3\phi} = \frac{1 \angle 0^0}{0,595 \angle 79^0} = 1,68 \angle -79^0 \text{ (pu)}$$

Untuk arus dasar ( $I_{dasar}$ ) sisi 20 kV

$$I_{dasar} = \frac{MVA_{dasar} \times 1000}{\sqrt{3} \times kV_{dasar}}$$

$$I_{dasar} = \frac{100 \times 1000}{\sqrt{3} \times 20}$$

$$I_{dasar} = 2886,75 \text{ Amper}$$

Maka arus hubung singkat tiga fasa dalam Amper adalah sebagai berikut:

$$I_{hs 3\phi} = I_{dasar} \times I_{3\phi} \text{ (Amper)}$$

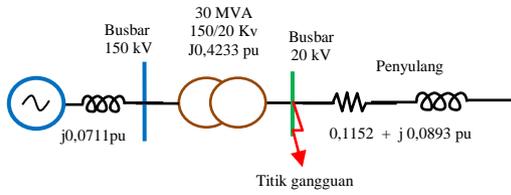
$$I_{hs 3\phi} = 2886,75 \times 1,68 \text{ (Amper)}$$

$$I_{hs 3\phi} = 4849,74 \text{ Amper}$$

$$I_{hs 3\phi} = 4,850 \text{ kA}$$

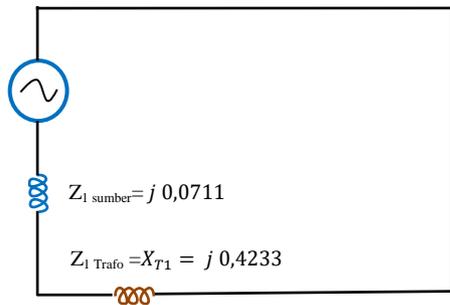
**b. Arus Hubung Singkat Tiga Fasa untuk Gangguan di Busbar 20 kV**

Diagram satu garis untuk titik gangguan tiga fasa di Busbar 20 kV, dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram satu garis untuk titik gangguan di busbar 20 kV

Dari Gambar 5 diagram satu garis, maka dibuat gambar impedansi urutan positif seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram impedansi urutan positif untuk gangguan di busbar 20kV

Arus hubung singkat tiga fasa di Busbar 20 kV:

$$I_{3\phi} = \frac{V_f}{Z_1}$$

$$I_{3\phi} = \frac{1 \angle 0^\circ}{Z_{sumber} + Z_{trafo}}$$

$$I_{3\phi} = \frac{1 \angle 0^\circ}{j0,0711 + j0,4233}$$

$$I_{3\phi} = \frac{1 \angle 0^\circ}{j0,4944}$$

$$I_{3\phi} = \frac{1 \angle 0^\circ}{0,4944 \angle 90^\circ} = 2,02 \angle -90^\circ (pu)$$

Maka arus hubung singkat tiga fasa dalam Amper adalah sebagai berikut:

$$I_{hs\ 3\phi} = I_{dasar} \times I_{3\phi} (Amper)$$

$$I_{hs\ 3\phi} = 2886,75 \times 2,02 (Amper)$$

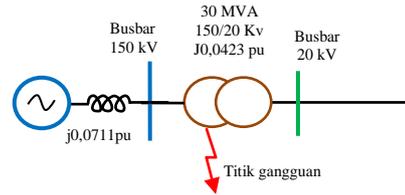
$$I_{hs\ 3\phi} = 5831,235 Amper$$

$$I_{hs\ 3\phi} = 5,831 kA$$

**c. Arus Hubung Singkat Tiga Fasa untuk Gangguan di Dalam Transformator**

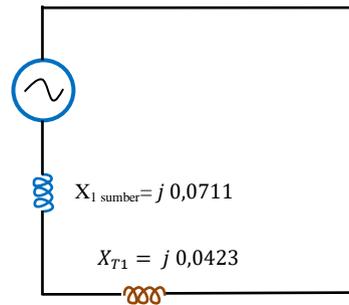
Karena jarak busbar 20 kV dan Transformator sangat dekat. Diasumsikan gangguan terjadi di dalam transformator tepatnya 10% dari Impedansi total transformator.

Diagram satu garis untuk titik gangguan di dalam transformator, dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram satu garis untuk gangguan di dalam transformator

Dari Gambar 7 diagram satu garis, maka dibuat gambar reaktansi (impedansi) urutan positif seperti terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram reaktansi urutan positif untuk gangguan di transformator

Arus hubung singkat tiga fasa untuk gangguan di dalam transformator adalah:

$$I_{3\phi} = \frac{V_f}{Z_1}$$

$$I_{3\phi} = \frac{1 \angle 0^\circ}{Z_{sumber} + Z_{trafo}}$$

$$I_{3\phi} = \frac{1 \angle 0^\circ}{j0,0711 + j0,0423}$$

$$I_{3\phi} = \frac{1 \angle 0^\circ}{j0,1134}$$

$$I_{3\phi} = \frac{1 \angle 0^\circ}{0,1134 \angle 90^\circ} = 8,82 \angle -90^\circ (pu)$$

Maka arus hubung singkat tiga fasa dalam Amper adalah sebagai berikut:

$$I_{hs\ 3\phi} = I_{dasar} \times I_{3\phi} (Amper)$$

$$I_{hs\ 3\phi} = 2886,75 \times 8,82 (Amper)$$

$$I_{hs\ 3\phi} = 42774,71 Amper$$

$$I_{hs\ 3\phi} = 42,775 kA$$

**F. Nilai Arus Pemutusan Pemutus Tenaga**

Untuk menentukan nilai arus pemutusan pemutus tenaga (PMT), nilai arus hubung singkat tiga fasa dikalikan dengan 1,6.

- a. Nilai arus pemutusan Pemutus Tenaga untuk penyulang:

$$I_{PMT} = I_{hs\ 3\phi} \times 1,6$$

$$I_{PMT} = 4,850 \times 1,6$$

$$I_{PMT} = 7,76\ kA$$

- b. Nilai arus pemutusan Pemutus Tenaga untuk busbar:

$$I_{PMT} = I_{hs\ 3\phi} \times 1,6$$

$$I_{PMT} = 5,831 \times 1,6$$

$$I_{PMT} = 9,33\ kA$$

- c. Nilai arus pemutusan Pemutus Tenaga untuk transformator:

$$I_{PMT} = I_{hs\ 3\phi} \times 1,6$$

$$I_{PMT} = 42,775 \times 1,6$$

$$I_{PMT} = 68,44\ kA$$

Tabel 2. Hasil perhitungan nilai arus pemutusan Pemutus tenaga

Lokasi Pemutus Tenaga	$I_{hs3\phi}$ (pu)	$I_{hs3\phi}$ (kA)	$I_{PMT}$ (kA)
Penyulang	$1,68\angle-79^0$	4,850	7,76
Busbar	$2,02\angle-90^0$	5,831	9,33
Transformator	$8,82\angle-90^0$	42,775	68,44

**V. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Besar nilai arus pemutusan pemutus tenaga adalah 7,76 kA dengan perkiraan gangguan terjadi di ujung penyulang.
2. Besar nilai arus pemutusan pemutus tenaga adalah 9,33 kA dengan perkiraan gangguan terjadi di busbar 20 kV.
3. Besar nilai arus pemutusan pemutus tenaga adalah 68,44 kA dengan perkiraan gangguan terjadi di dalam transformator pada 10% dari total impedansi transformator.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Daman Suswanto, 2009, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Edisi Pertama, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.
- [2] Gonen, Turan, 1988, *Modern Power System Analysis*, John Wiley & Sons Inc, USA.
- [3] Hutaeruk, T.S., 1996, *Transmisi Daya Listrik*, Erlangga, Jakarta.
- [4] Pabla, A.S., 1996, *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Alih Bahasa: Abdul Hadi, Erlangga, Jakarta.
- [5] PT. PLN (Persero), 2014, *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga*, Dokumen Nomor: PDM/PGI/07:2014, Jakarta.
- [6] Stevenson, W.D., 1996, *Analisa Sistem Tenaga*, Erlangga, Jakarta
- [7] Sulaiman, O. K., & Widarma, A. (2017). Perbandingan Fastethernet, Gigabitethernet dan Serial dalam Jaringan Berbasis Routing Protokol EIGRP.
- [8] SNI (Standar Nasional Indonesia), *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)*, Badan Standardisasi Nasional BSN, Jakarta.